

# Curriculum Vitae

Dr. Yi-Pei Shih

石伊蓓 博士

Department of Mechanical Engineering

National Taiwan University of Science and Technology

國立臺灣科技大學 機械工程系

Precision Transmission Lab.

精密傳動實驗室

+886-2-2737-6775 shihypei@mail.ntust.edu.tw

---

## 內容

1. 個人簡歷 Personal Information and Profession Position.....	1
2. 研究領域 Research Areas.....	1
3. 學術研究 Research Activities.....	2
3.1 期刊論文 Journal Paper.....	2
3.2 會議論文 Conference Paper .....	2
3.3 技術報告 Technical Report .....	3
3.4 國科會及產學計畫 Research Grant.....	4
3.5 演講 Invited Speech.....	4
3.6 國內外學術期刊審查委員 Reviewer of Journal .....	5
3.7 顧問 Consultant .....	5
4. 指導學生 Former Students .....	5
5. 學術研究.....	6
5. 廠商合作.....	16

## 1. 個人簡歷 Personal Information and Profession Position

### ● 學歷 Education

- 國立中正大學機械工程學系博士(2003.09~2007.06)
- 國立交通大學機械工程學系碩士(1993.09~1995.06)
- 國立交通大學機械工程學系學士(1989.09~1993.06)
- Ph.D. in Mechanical Engineering, National Chung Cheng University.  
(2003.09~2007.06)
- M.D. in Mechanical Engineering, National Chiao Tung University.  
(1993.09~1995.06)
- B.S. in Mechanical Engineering, National Chiao Tung University.  
(1989.09~1993.06)

### ● 經歷 Professional Positions

- 陸聯精密研發副理(2006.10~2008.07)
- 台灣廣用動力科技設計課長(1999.12~2003.08)
- 上銀科技線性滑軌部設計副課長(1995.07~1999.08)
- Deputy Manager, Luren Precision CO.,LTD. (2006.10~2008.07)
- Section Manager, APEX DYNAMICS, INC. (1999.12~2003.08)
- Deputy Section Manager, HIWIN Technologies Corp. (1995.07~1999.08)

## 2. 研究領域 Research Areas

- 螺旋傘齒輪與戟齒輪設計與製造
- 齒輪刀具設計與製造
- 齒輪專用機開發
- 齒輪設計與製造閉迴路系統
- 齒輪原理
- Design and manufacture of spiral bevel and hypoid gears
- Design and manufacture of gear cutting tools
- Gear cutting and grinding machines
- Closed-loop manufacturing system for gears
- Theory of gearing

### 3. 學術研究 Research Activities

#### 3.1 期刊論文 Journal Paper

1. Shih, Y-P., Fong, Z-H.\*, and Lin, C-Y., 2007, Mathematical Model for a Universal Face Hobbing Hypoid Gear Generator. ASME J. Mech. Des., **129**(1), pp. 38-47. (SCI)
2. Shih, Y-P., and Fong, Z-H.\*, 2007, Flank Modification Methodology for Face-Hobbing Hypoid Gears Based on Ease-Off Topography. ASME J. Mech. Des., **129**(12), pp. 1294-1302. (SCI)
3. Shih, Y-P., and Fong, Z-H.\*, 2008, Flank Correction for Spiral Bevel and Hypoid Gears on a Six-Axis CNC Hypoid Gear Generator. ASME J. Mech. Des., **130**(6), 062604. (SCI)
4. Shih, Y.-P., 2010, A Novel Ease-Off Flank Modification Methodology for Spiral Bevel and Hypoid Gears, Mech. Mach. Theory, **45**(8), pp. 1108-1124. (SCI, doi: 10.1016 /j.mechmachtheory.2010.03.010), NSC 98-2622-E-194-004-CC2.
5. Shih, Y.-P. and Chen, S.-D., 2012, A Flank Correction Methodology for a Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, Mech. Mach. Theory, **47**(1), pp. 31-45 (SCI, doi: 10.1016 /j.mechmachtheory.2011.08.009), NSC99-2622-E-194-007-CC2.
6. Shih, Y.-P. and Chen, S.-D., Free-Form Flank Correction in Helical Gear Grinding on a Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, Accepted by J. MANUF. SCI. E.-T. ASME. (SCI), NSC 99-2622-E-194-007-CC2.
7. Shih, Y.-P., Mathematical Model for Face-Hobbed Straight Bevel Gears, Submitted to ASME J. Mech. Des., NSC 99-2221-E-011-016.

#### 3.2 會議論文 Conference Paper

1. Shih, Y-P., and Fong, Z-H., 2006, Flank Modification of Hypoid Gear Based on the Lapped Ease-Off Topography, Proce. International Conference on Mechanical Transmission, Chongqing, pp. 330-337.
2. Shih, Y-P., and Fong, Z-H., 2007, Flank Correction for Spiral Bevel and Hypoid Gears on a Six-Axis CNC Hypoid Gear Generator, IMECE, Seattle, Washington.

3. 石伊蓓、馮展華，2009，螺旋傘齒輪和戟齒輪之齒面誤差修正方法，海峽兩岸現代精度理論及應用學術研討會，桃園。
4. 石伊蓓，2009，基於SolidWorks API之螺旋傘齒輪三維建模方法研究，第十二屆全國機構與機器設計學術研討會，中正大學、嘉義。
5. 石伊蓓、黃聖凱、伍志明、黃金龍，2010，六軸CNC滾刀磨銳機之滾刀刀口面磨銳誤差修正研究，中國機械工程學會CSME第27屆全國學術研討會，台北科技大學、台北。[NSC 98-2622-E-194-004-CC2](#)。
6. Shih, Y.-P. and Chen, S.-D., 2011, A Flank Correction Methodology for Hob Sharpening on the Five-Axis CNC Hob Sharpening Machine, CAD Conference 2011, Taiwan, Taipei.(EI), [NSC 99-2622-E-194-007-CC2](#)。
7. 蔣岳峰，石伊蓓，2011，五軸CNC成形砂輪磨齒機之數學模式，第14屆全國機構與機器設計學術研討會，中央大學，桃園。[NSC 99-2622-E-194-007-CC2](#)。
8. 張欽宇，石伊蓓，2011，五軸CNC成形砂輪磨齒機NC路徑模擬與碰撞檢測，中國機械工程學會CSME第28屆全國學術研討會，中興大學，台中。[NSC 99-2622-E-194-007-CC2](#)。
9. Lee, Y.-H., Cai, J.-H. and Shih, Y.-P., 2012, Probe Position Planning for Measuring Cylindrical Gears on a Four-Axis CNC Machine, Submitted to International Conference on Advanced Manufacturing, Taiwan, Yilan, [NSC 99-2622-E-194-007-CC2](#)。

### 3.3 技術報告 Technical Report

1. 石伊蓓、林忠運，2004 年 10 月，蝸線傘齒輪及戟齒輪之面滾式切製法介紹，機械月刊，第 351 期，文 pp. 18-26。
2. 石伊蓓、林忠運，2005 年 8 月，蝸線傘齒輪和戟齒輪切削刀具，機械月刊，第 361 期，文 pp. 72-87。
3. 石伊蓓、林忠運，2006 年 8 月，面滾式蝸線傘齒輪和戟齒輪之齒面修正技術，機械月刊，第 373 期，文 pp. 50-63。
4. 石伊蓓、馮展華，2007 年 7 月，基於齒面相對修形(Ease-off)的戟齒輪齒面設計技術，機械月刊，第 384 期，文 pp. 32-49。

5. 石伊蓓、馮展華，2010 年 6 月，直傘齒輪製造方法介紹，機械月刊，第 419 期，文 pp. 84-101。

### 3.4 國科會及產學計畫 Research Grant

1. 高速比螺旋傘齒輪之模造齒輪設計(長鈺模具股份有限公司)(主持人，2011/12/1 至 2012/11/30)
2. 面滾式直傘齒輪閉迴路製造方法之研究(NSC 100-2221-E-011-045)(主持人，2011/8/1 至 2012/7/31)
3. 產學計畫「電腦數控立式成形砂輪磨齒機關鍵技術研發(2/2)」(NSC 98-2622-E-194-004-CC2)(共同主持人，2010/12/1 至 2012/2/29)
4. 面滾式直傘齒輪設計和製造方法之研究(NSC 99-2221-E-011-016)(主持人，2010/8/1 至 2011/7/31)
5. 產學計畫「電腦數控立式成形砂輪磨齒機關鍵技術研發(1/2)」(NSC 98-2622-E-194-004-CC2)(共同主持人，2009/10/1 至 2010/12/30)
1. National Science Council. Study and development of the software on the gear form grinding machine and the closed-loop manufacturing technology (1/2). (NSC 98-2622-E-194-004-CC2) (2009.10- 2010.12)
2. National Science Council. Study on design and manufacture of face- hobbed straight bevel gears. (NSC 99-2221-E-011-016) (2010.08- 2011.07)
3. National Science Council. Study and development of the software on the gear form grinding machine and the closed-loop manufacturing technology (2/2). (NSC 98-2622-E-194-004-CC2) (2011.01- 2012.02)
4. National Science Council. Study on closed-loop manufacture method for face hobbing straight bevel gears. (NSC 100-2221-E-011-045) (2011.08- 2012.07)

### 3.5 演講 Invited Speech

1. 2008/10/08 臺灣科技大學機械工程學系 螺旋傘齒輪與戟齒輪的設計與製造。
2. 2008/02/01 台灣區機器工業同業公會齒輪製造業專業委員會 螺旋傘齒輪與戟齒輪的設計與製造之最新發展。

### 3.6 國內外學術期刊審查委員 Reviewer of Journal

1. Journal of Chinese Institute of Engineering. (2008.09)
2. Mechanism and Machine Theory. (2010.11)
3. Applied Mathematical Modelling. (2010.11)

### 3.7 顧問 Consultant

1. 成光科技股份有限公司 顧問(2004.09~2006.08)

## 4. 指導學生 Former Students

- 畢業博士生(0 人)

- 畢業碩士生(5 人)

1. 黃聖凱，滾刀磨銳機之滾刀刃口面磨銳誤差修正研究，2010.07
2. 張欽宇，五軸 CNC 成形砂輪磨齒機 NC 路徑模擬與碰撞檢測
3. 王邦宇，五軸 CNC 成形砂輪磨齒機之人機介面研究，2011.07
4. 蔣岳峰，五軸 CNC 成形砂輪磨齒機數學模式之研究，2011.07
5. 蔡佳宏，五軸 CNC 成形砂輪磨齒機線上掃描式量測 NC 路徑規劃之研究，2011.07

- PHDs Advised:(0 student)

- Masters Advised:(5 student)

1. Sheng-Kai Huang, Study on Flank Correction of Hob Flutes Based on Hob Sharpening Machine, 2010.07.
2. Chin-Yu Chang, NC Path Simulation and Collision Detection Based on Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, 2011.07.
3. Bang-Yu Wang, Study on Human Machine Interface of Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, 2011.07.
4. Yue-Fong Jiang, Study on Mathematical Model of Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, 2011.07.
5. Jia-Hong Cai, Study on NC Programming of On-Machine Scanning Measurement on Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, 2011.07.

## 5. 學術研究

研究主要分為五類(1)各式齒輪設計、(2)齒面製造誤差修正技術、(3)齒輪刀具設計與製造、(4)齒輪專用機開發、(5)齒輪工具機 NC 模擬。就研究成果依時間序分別細述如下：

### (A) 面滾式直傘齒輪數學模式(2011)

面滾式切製法為螺旋傘齒輪和戟齒輪的主要製造方法之一，此方法採連續分度雙齒面切削，因此加工速度較快，且製造之齒形具有高精度與較佳之齒面接觸性能等優點，然其齒線為延伸外擺線，無法直接運用於直傘齒輪加工。本研究利用內擺線運動中之滾動圓半徑等於  $1/2$  基圓半徑時，其運動軌跡為直線，推導泛用型搖台式面滾式切齒機創成之直傘齒輪齒面數學模式，包含三個模組分別為面滾式刀具、假想產形輪以及工件齒輪與假想產形輪之間的相對運動，利用推導出之面滾式直傘齒輪齒面數學模式進行少齒數齒面過切(Undercutting)條件分析、齒面相對修形(Ease-off)、無負載齒面接觸分析(TCA)以及建立齒面拓模修整之方法。

### 發表論文

- Shih, Y.-P., Mathematical Model for Face-Hobbed Straight Bevel Gears, Submitted to ASME J. Mech. Des., NSC 99-2221-E-011-016.

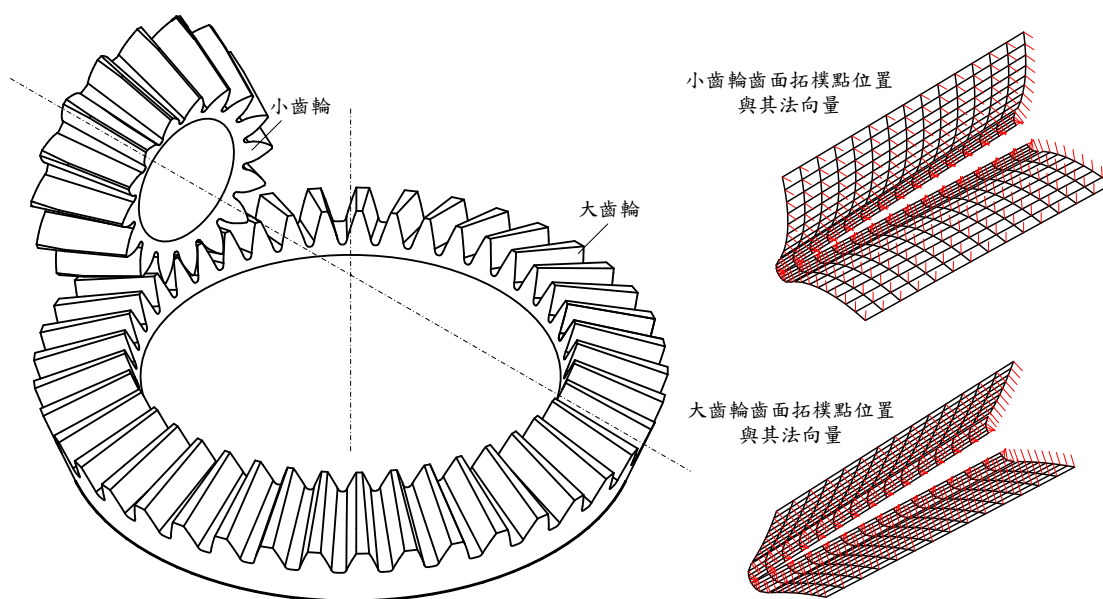


圖 1 面滾式直傘齒輪對



## (B) 五軸 CNC 成形砂輪磨齒機齒面誤差修正方法(2011)

成形砂輪磨齒機主要應用於大直徑齒輪的齒面磨削加工，由於因機台運動軸幾何位置誤差或加工受力變形等影響，實際上，製造齒輪之齒面與理論齒面將產生些微偏差，由於齒輪接觸性對齒面幾何誤差相當敏感，因此必須根據量測結果進行機械設定誤差補償。且大齒輪的工作環境比較嚴苛，最佳的齒面設計是透過高階齒面修形，來補償齒輪在運轉下因受力和溫升等因素所造成的變形，以提高其齒面接觸效能，所以磨床必須具備此項齒面修形能力，來滿足最新齒輪齒面設計的需求。此類磨床 Höfler 的 RAPID 和 Niles ZP 系列磨齒機，具有多達五軸聯動的磨削運動設計，加上 NC 自由曲線砂輪齒廓修形的功能，用於齒輪齒面修形和誤差修正都相當具有彈性。透過建立 CNC 成形砂輪磨齒機的數學模式，提出其製造誤差修正方法，利用各軸數值控制修正修砂和磨削位置，來達成高階曲面誤差修正的目的。

發表論文

- Shih, Y.-P. and Chen, S.-D., 2012, A Flank Correction Methodology for a Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, Mech. Mach. Theory, **47**(1), pp. 31-45 (SCI, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2011.08.009), NSC99-2622-E-194-007-CC2.
- Shih, Y.-P. and Chen, S.-D., Free-Form Flank Correction in Helical Gear Grinding on a Five-Axis CNC Gear Profile Grinding Machine, Accepted by J. MANUF. SCI. E.-T. ASME. (SCI), NSC 99-2622-E-194-007-CC2.

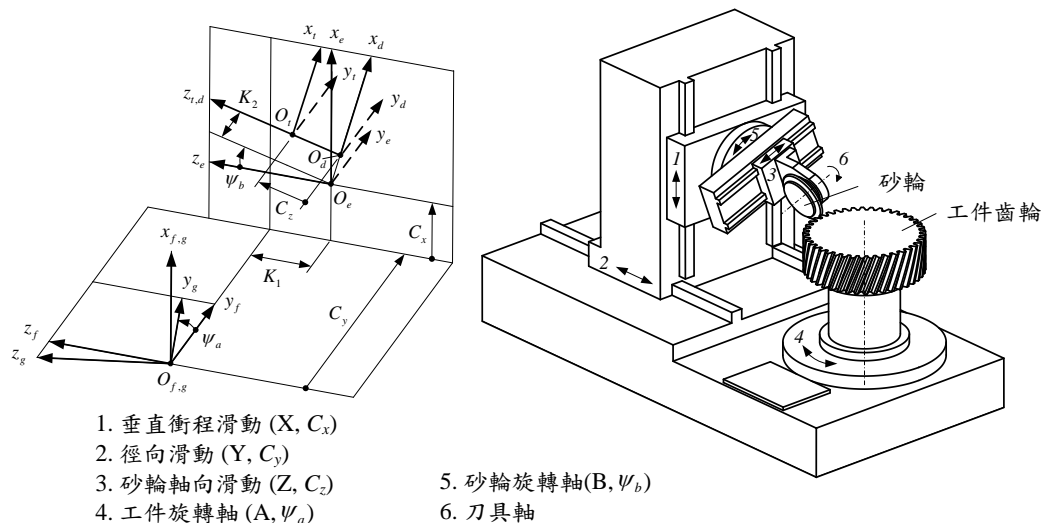


圖 2 五軸 CNC 成形砂輪磨齒機坐標系統



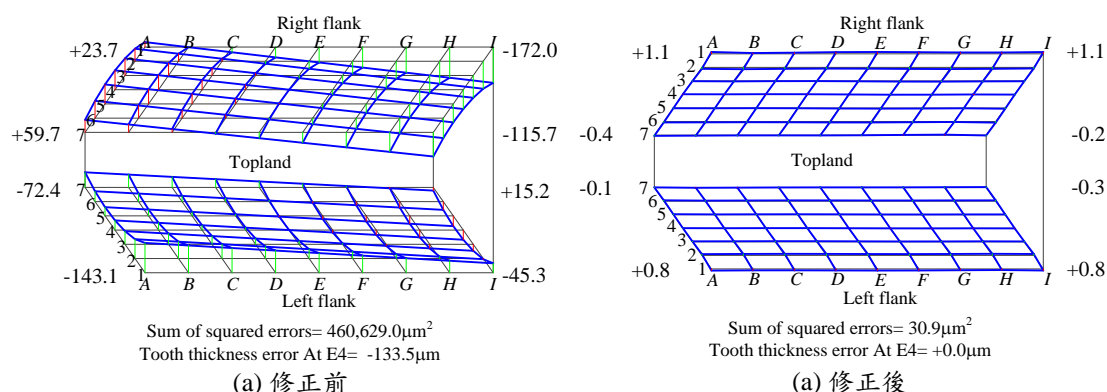


圖 3 螺旋齒輪齒面拓撲誤差

### (C) 成形砂輪磨齒機線上掃描式量測探頭路徑規劃(2011)

大直徑齒輪在成形研磨加工時，會因工件夾持、機台幾何誤差，以及加工時受力、受熱等因素，造成實際加工齒面與理論設計齒面不一致，因此需進行齒面誤差量測，再根據誤差值進行齒面誤差修正，以提高齒輪精度。國內現有的做法為齒輪加工完，再將齒輪工件移至高精度的檢測儀器上進行量測，然而因拆裝過程中所造成的裝載誤差與時間的浪費，降低了齒輪的精度與生產的效率。有鑑於此，我們發展了一套成形砂輪磨齒機線上量測評估系統，在圓柱齒輪研磨加工後能即時量測齒輪齒面，並計算齒面之誤差值、繪製誤差曲線圖與評估誤差精度等級，做為後續閉迴路齒面誤差修正技術的基礎。建立之線上量測系統採用掃描式量測，來加快量測速度，以及提高量測精度，而開發之量測工序包含有(1)齒形、(2)導程、(3)節距，和(4)齒面拓撲點。

### 發表論文

- Lee, Y.-H., Cai, J.-H. and Shih, Y.-P., 2012, Probe Position Planning for Measuring Cylindrical Gears on a Four-Axis CNC Machine, Submitted to International Conference on Advanced Manufacturing, Taiwan, Yilan, NSC 99-2622-E-194-007-CC2.

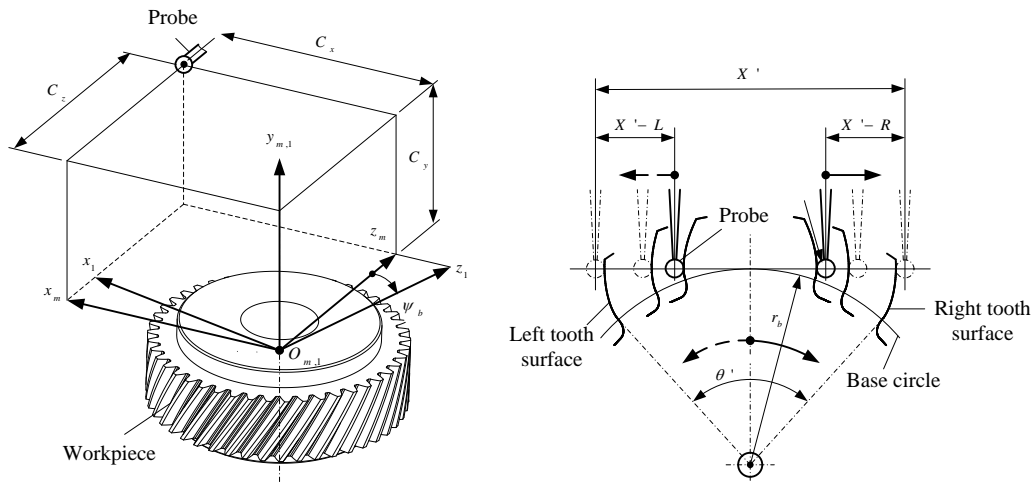


圖 4 基圓量測法

(D) 五軸 CNC 成形砂輪磨齒機 NC 路徑模擬與碰撞檢測(2011)

成形砂輪磨齒機為五軸 CNC 同動，可實施包含修砂、磨削和線上量測三種工序。此類機台運動較為複雜，精密度高且價格昂貴，一旦撞機可能造成機械損壞，其維修費用非常高。為防撞機，一般在加工前會先執行空跑以測試 NC 路徑是否正確，由於工序複雜，所需的測試時間長，此時機台無法投入生產因而影響生產效率。有鑑於此，我們利用 Visual Basic 2008 做為開發平台，以 OpenGL 圖形庫為三維圖形顯示基礎，研發成形砂輪磨齒機之三維虛擬實境 NC 路徑模擬與碰撞檢測系統。此模擬系統不僅可以節省機台空跑的時間，並可避免撞機發生。此模擬系統主要分為三大部份(1)NC 碼轉譯功能、(2)三維體素(Voxel)建立功能以及(3)碰撞檢測功能。

發表論文

- 張欽宇，石伊蓓，2011，五軸 CNC 成形砂輪磨齒機 NC 路徑模擬與碰撞檢測，中國機械工程學會 CSME 第 28 屆全國學術研討會，中興大學，台中。NSC 99-2622-E-194-007-CC2.

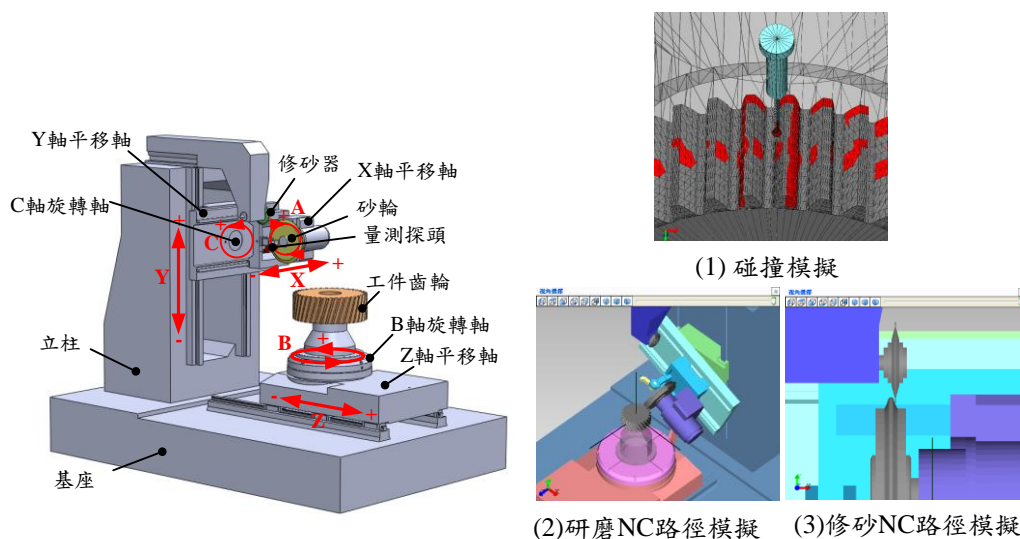


圖 5 NC 路徑模擬與碰撞檢測畫面

#### (E) 成形砂輪磨齒機之數學模式(2011)

為提高齒輪精度、生產效率和控制品質穩定度，國內齒輪製造廠常不惜花費鉅資購入國外高精度齒輪磨床，然其關鍵技術卻仍掌握在國外各大工具機製造商。我們發展成形砂輪磨齒機各項關鍵技術，包含圓柱齒輪數學模式、端面齒形修整方式以及建立泛用型磨齒機坐標系統，以計算砂輪軸向廓形，並參考現有機台建立五軸 CNC 成形砂輪磨齒機坐標系統，透過比對泛用型與五軸機台之坐標轉換矩陣推導五軸機械設定運動函式，再據此規劃砂輪修整及磨齒 NC 加工路徑，亦針對新砂輪修整方式效率普遍不佳的缺點提出改進之方法。上述之研究成果，可做為日後開發五軸 CNC 成形砂輪磨齒機製造加工程式之基礎，以協助國內業界開發大型齒輪精密磨床之自主能力。

#### 發表論文

- 蔣岳峰，石伊蓓，2011，五軸 CNC 成形砂輪磨齒機之數學模式，第 14 屆全國機構與機器設計學術研討會，中央大學，桃園。NSC 99-2622-E-194-007-CC2.

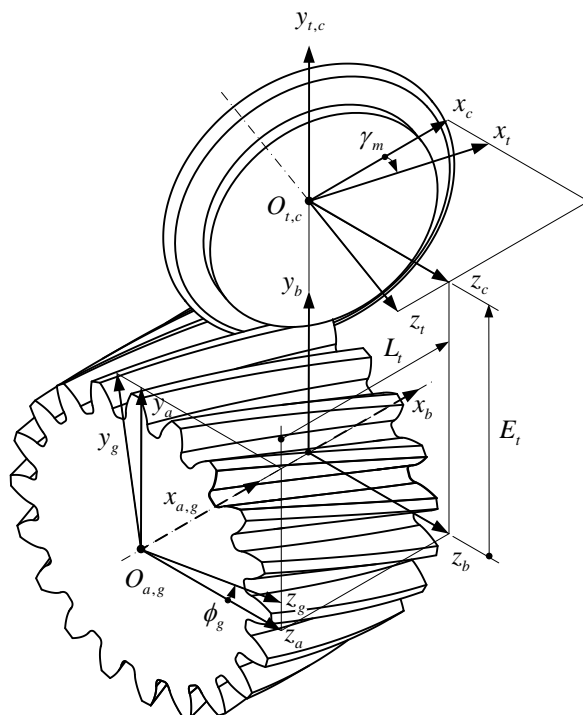


圖 6 泛用型成形磨齒機坐標系統(外齒研磨)

#### (F) 滾刀磨銳機刀口面誤差修正方法(2011)

滾齒加工是生產率最高、應用最廣與最經濟的一種齒輪加工方法，滾刀則為該工序所使用之切削刀具。因在大量切齒後，滾刀刀口因磨耗造成不銳利及精度下降，因而影響滾齒效率與品質，故必須重新使用砂輪磨銳刀口面。現今磨銳滾刀的設備為 CNC 滾刀磨銳機，國內外有許多製造滾刀磨銳機的廠商如德國克林根貝格(Klingelnberg)和卡帕公司(Kapp)、美國格里森公司(Gleason)，以及國內陸聯精密公司等。透過立 CNC 滾刀磨銳機的數學模式，提出其製造誤差修正方法，利用各軸數值控制位置差補功能，來達成高階曲面誤差修正的目的。

#### 發表論文

- Shih, Y.-P. and Chen, S.-D., 2011, A Flank Correction Methodology for Hob Sharpening on the Five-Axis CNC Hob Sharpening Machine, CAD Conference 2011, Taiwan, Taipei.(EI), NSC 99-2622-E-194-007-CC2.
- 石伊蓓、黃聖凱、伍志明、黃金龍，2010，六軸 CNC 滾刀磨銳機之滾刀刀口面磨銳誤差修正研究，中國機械工程學會 CSME 第 27 屆全國學術研討會，台北科技大學、台北。NSC 98-2622-E-194-004-CC2.

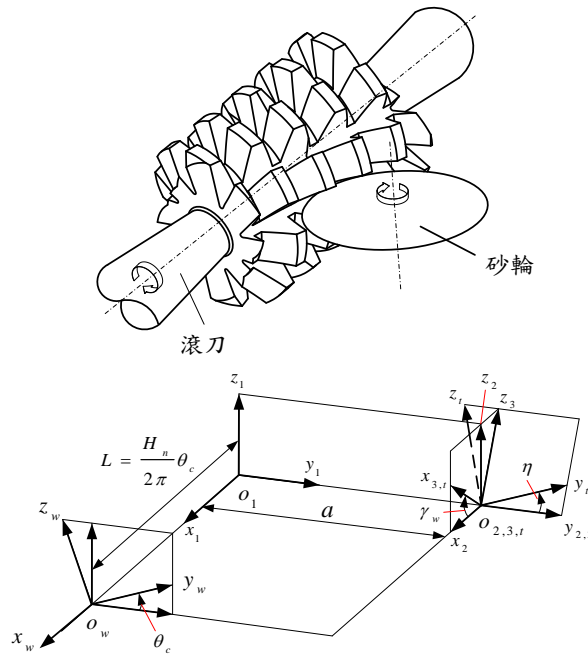


圖 7 泛用型滾刀磨銳機之座標系統

(G) 新的齒面相對修形螺旋傘齒輪和戟齒輪齒面修整方法(2010)

為降低齒輪組裝和製造誤差敏感度，一般齒輪齒面採點接觸設計，透過在齒形和齒長方向的微量修形，使得齒輪對在組裝失配的狀況下，仍能適當接觸而不影響齒輪性能。前述齒形和齒長的修形可以使用微調刀具刃口線形或半徑，以及變化加工運動來達成。我們提出一新的齒面相對修形(Ease-off)的方法，推導沿接觸路徑和接觸線兩方向的齒面相對修形數學模式，將兩方向相對修形的合成做為齒面修整的依據。推想沿接觸路徑的修形將影響傳遞角度誤差，而沿著接觸線修形則可改變接觸橢圓大小，因此可以找出角度誤差和橢圓長軸半徑與齒面相對修形的關係，進而獲得目標的相對修形量。

發表論文

- Shih, Y.-P., 2010, A Novel Ease-Off Flank Modification Methodology for Spiral Bevel and Hypoid Gears, Mech. Mach. Theory, **45**(8), pp. 1108-1124. (SCI, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2010.03.010), NSC 98-2622-E-194-004-CC2.

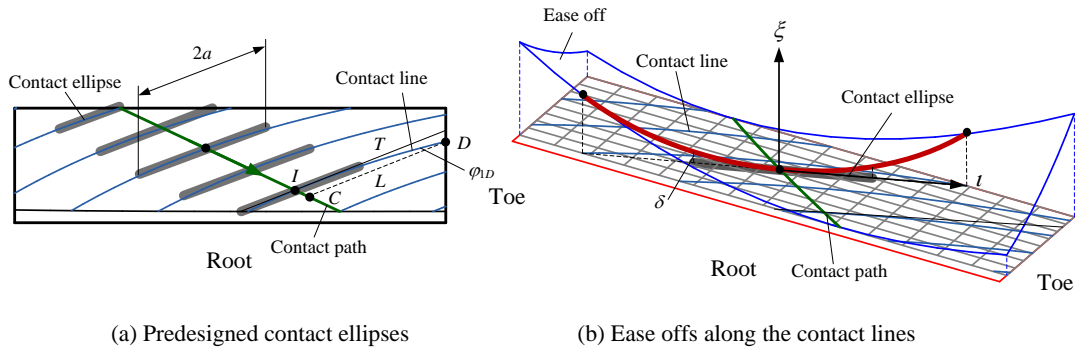


圖 8 基於已知接觸橢圓主軸長度沿著接觸線之齒面相對修形

(H) SolidWorks 二次開發螺旋傘齒輪設計附加程式(2009)

螺旋傘齒輪的 3D 建模方法被提出，利用 Visual Basic.NET 對 SolidWorks 軟體進行二次開發，建立 SolidWorks 傘齒輪設計附加程式(Add-in)，以自動產生設計之螺旋傘齒輪零件圖。其方法是根據齒輪原理和設計規範，使用開發軟體 Visual Basic.NET 計算螺旋傘齒輪的齒胚參數和設計齒面點位置，並透過 SolidWorks 提供之應用程式介面(API)，以軟體直接調用 SolidWorks 繪圖指令來產生齒輪零件圖。

發表論文

- 石伊蓓，基於 SolidWorks API 之螺旋傘齒輪三維建模方法研究，第十二屆全國機構與機器設計學術研討會，中正大學、嘉義，2009。



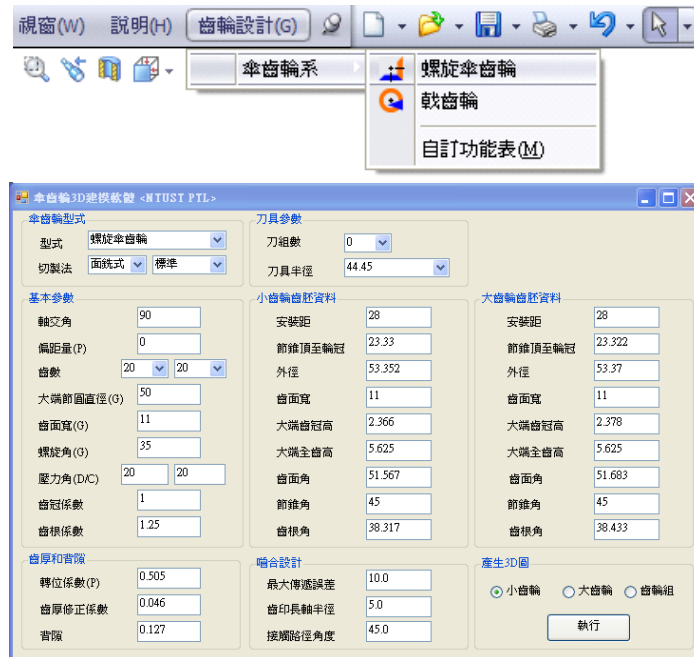


圖 9 螺旋傘齒輪建模輸入畫面(SolidWorks Add-in)

#### (I) 螺旋傘齒輪和鞍齒輪之齒面誤差修正方法(2009)

螺旋傘齒輪和鞍齒輪為相交軸和相錯軸扭力傳遞的重要機械元件，為滿足業界對齒輪高強度和低噪音等性能要求的日益提升，現今傘齒輪設計相當著重於齒輪之齒面修形，傳統的搖台式傘齒輪切齒機器，大多使用如變動滾比(modified roll)、螺旋運動(helical motion)等二次齒面修形技術來最佳化齒輪嚙合特性。而新型六軸數控鞍齒輪機如 Gleason 的 Phoenix 以及 Klingelnberg-Oerlikon 的 C 型傘齒輪切齒機的發展，使得螺旋傘齒輪和鞍齒輪的製造方法產生極大的變革，此類機器可透過 NC 六軸同步控制的方法，實施包含現有大部份的面銑式(face milling)和面滾式(face hobbing)加工程序，且具有高階自由齒面修形的能力。螺旋傘齒輪和鞍齒輪的嚙合非常敏感，齒面微小誤差將會對齒輪接觸性能產生極大影響，在製造上，無可避免的會因機器本身的誤差、夾治具和刀具偏差，以及加工受熱或受力變形等因素而造成齒面製造誤差。本論文針對六軸鞍齒輪切齒機提出一個新的齒面誤差修正方法，透過直接修正六軸加工路徑來最小化齒輪齒面誤差，此方法不僅能有效降低螺旋傘齒輪和鞍齒輪的齒面製造誤差，亦能將其應用在其它型式齒輪加工上。

#### 發表論文

- 石伊蓓、馮展華，2009，螺旋傘齒輪和鞍齒輪之齒面誤差修正方法，海峽兩岸現代



精度理論及應用學術研討會，桃園。

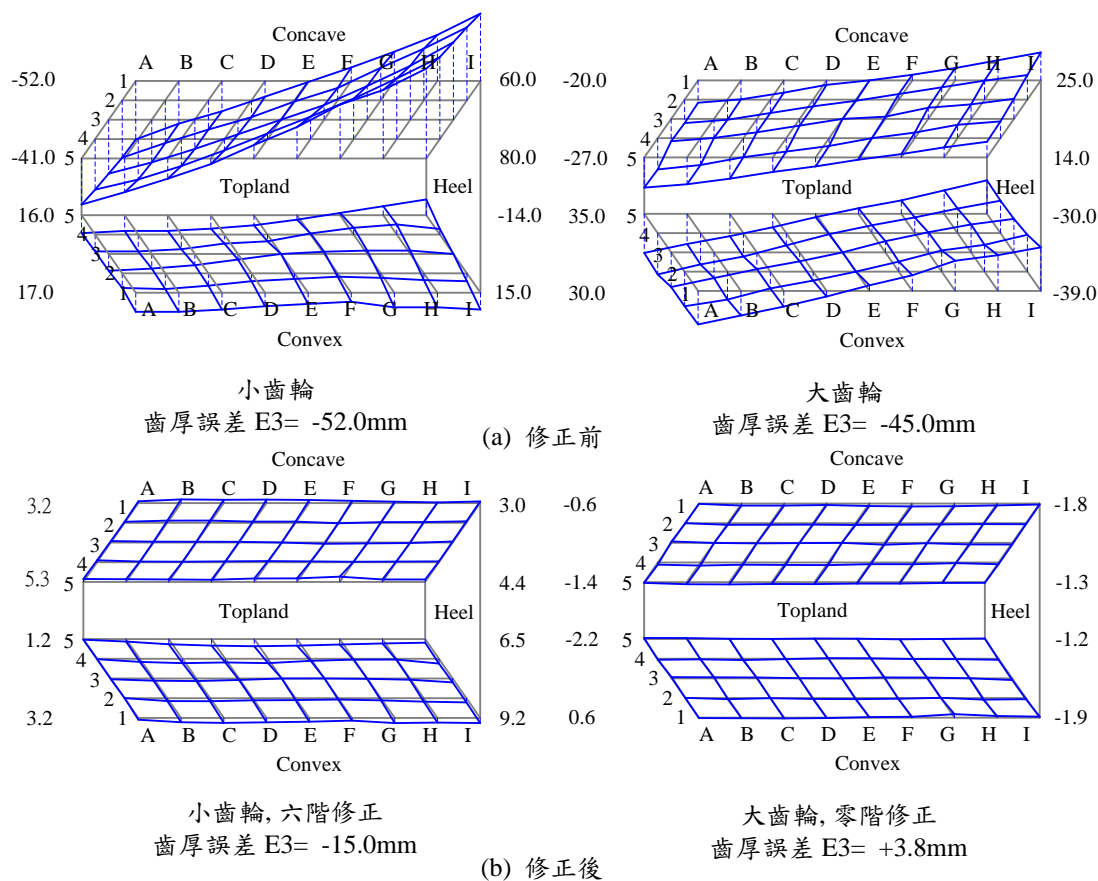


圖 10 軋齒輪齒面拓模誤差

#### (J) 建立傘齒輪齒面精度量測技術(2008)

國內除工研院外，幾家較具規模的齒輪製造商亦開始導入齒輪量測專用機，如 Zeiss 的 CMM 三次元外加旋轉軸量床，或是 Klingelnberg P 系列齒輪量測中心。齒輪量測專用機能讀入由外部軟體產生的齒面量測點資料(nominal data)，或是量測一標準齒輪(master gear)的齒面當作基準，以比對加工齒輪的齒面位置法向和齒厚誤差，再經由量測機內部軟體如 Klingelnberg 的 KOMET 或其它外部設計軟體如 Gleason 的 GAGE 等，以計算出機械設定修正值。此種方式一但製程穩定，便可以根據加工誤差和熱處理變形齒面變化的規律性預先修正齒面，並計算出適當的機械設定值，而能大幅縮短新規格齒輪的製造開發時程。

我們研究 Klingelnberg P 系列齒輪專用量測中心的傘齒輪量測資料，應用泛用型面滾式戟齒輪齒面數學模式，產生齒輪對基本資料檔 MESINFO.CDS，和齒輪齒面拓模點位置和法向量檔 SCOLL1.CDS(Nominal data)，將上述兩個檔案讀入齒輪量測中心後，即能開始量測傘齒輪齒面精度。比對輸出之齒面量測結果檔 ACTU1.CDS 和輸入之齒面量測點資料 SCOLL1.CDS，便可計算出齒面和齒厚誤差值，再根據建立之齒面修正法即可計算機械設定修正量。對國內廠商而言，傘齒輪製造技術最困難之處便是齒面誤差量測和修正，此項技術的建立將能協助業界在傘齒輪製造技術方面的提升。

## 5. 廠商合作

申請人協助產業建立下列技術：

### (A) 五軸 CNC 成形磨齒機加工軟體開發

成形磨齒機的關鍵技術在於砂輪輪廓推導與齒面修形和修正，開發之五軸 CNC 成形磨齒機加工軟體(如圖 11 所示)，提供使用者輸入介面，當輸入完齒輪基本參數和齒形設定後，程式自動算出砂輪廓形，並產生修砂和研磨加工 NC 碼。分別對砂輪修正係數和五軸研磨路徑函數係數做齒面敏感度分析，再根據齒面拓模量測誤差，逆推修砂和磨削路徑的修正量並產生修正後之 NC 碼，以提高工件齒輪磨削精度等級。

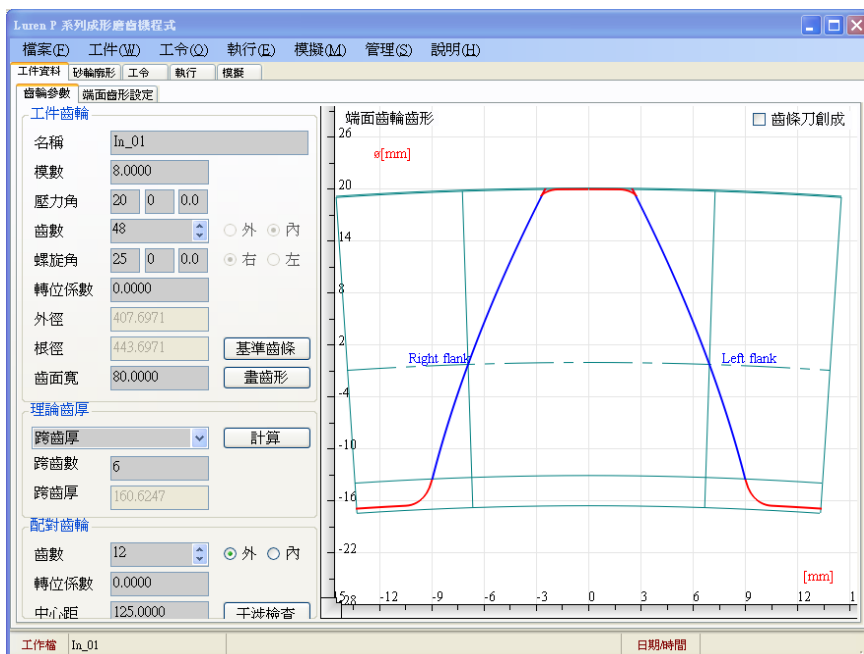


圖 11 開發之五軸 CNC 成形磨齒機加工軟體

## (B) 六軸 CNC 軋齒輪機加工軟體開發

為能在電腦數控型軋齒輪創成機進行切齒加工，開發之電腦數控型軋齒輪創成機加工軟體(如圖 12 所示)能快速產生六軸 NC 加工碼。根據六軸軋齒輪創成理論，推導出泛用軋齒輪機到六軸卡式座標式軋齒輪機的數學轉換式。此加工軟體能承接傘齒輪設計軟體所計算產生之面銑式或面滾式切製法之泛用機械設定，再由使用者決定切齒加工製程如單滾切法(single roll)或雙滾切法(double roll)，以及輸入夾治具高度和切齒加工參數後，程式便能自動轉換產生 NC 加工碼，再將 NC 加工碼傳送到電腦數控軋齒輪機之 NC 控制器上即可進行各種切齒加工。此加工軟體亦能讀入機械設定修正值，以產生修正之 NC 加工路徑，並可顯示六軸最終位置，用以判斷是否超過各軸加工軟體極限。

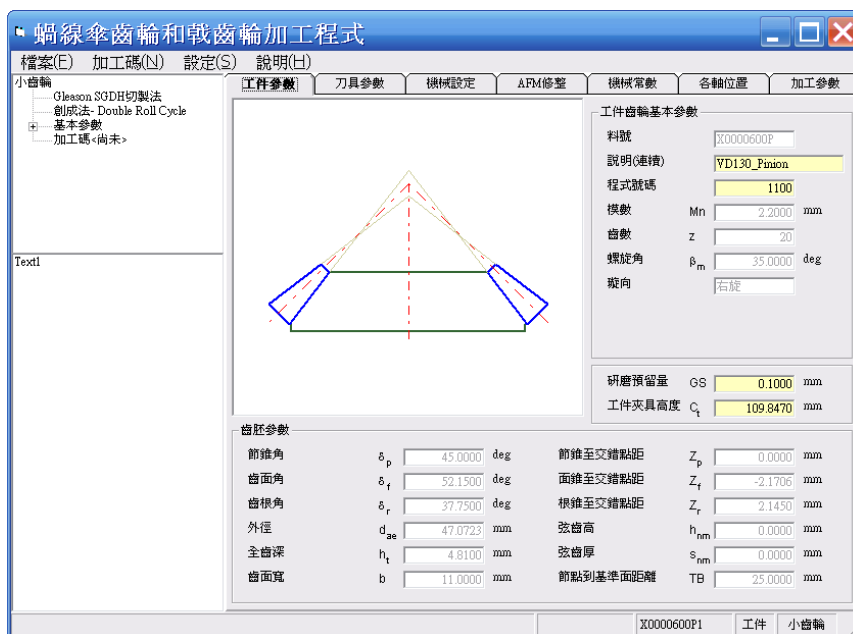


圖 12 開發之六軸 CNC 軋齒輪創成機加工軟體

## (C) 建立傘齒輪齒面精度量測技術

國內除工研院外，幾家較具規模的齒輪製造商亦開始導入齒輪量測專用機，如 Zeiss 的 CMM 三次元外加旋轉軸量床，或是 Klingelnberg P 系列齒輪量測中心(見圖 13)。齒輪量測專用機能讀入由外部軟體產生的齒面量測點資料(nominal data)，或是量測一標準齒輪(master gear)的齒面當作基準，以比對加工齒輪的齒面位置法向和齒厚誤差，再經由量測機內部軟體如 Klingelnberg 的 KOMET 或其它外部設計軟體如 Gleason 的 GAGE 等，以計算出機械設定修正值。此種方式一旦製程穩定，便可以根據加工誤差和熱處理變形齒面變化的規律性預先修正齒面，並計算出適當的機械設定值，而能大幅縮短新規格齒輪的製造開發時程。

晚進研究 Klingelnberg P 系列齒輪專用量測中心的傘齒輪量測資料，應用泛用型面滾式軋齒輪齒面數學模式，產生齒輪對基本資料檔 MESINFO.CDS，和齒輪齒面拓模點

位置和法向量檔 SCOLL1.CDS(Nominal data)，將上述兩個檔案讀入齒輪量測中心後，即能開始量測傘齒輪齒面精度。比對輸出之齒面量測結果檔 ACTU1.CDS 和輸入之齒面量測點資料 SCOLL1.CDS，便可計算出齒面和齒厚誤差值，再根據建立之齒面修正法即可計算機械設定修正量。對國內廠商而言，傘齒輪製造技術最困難之處便是齒面誤差量測和修正，此項技術的建立將能協助業界在傘齒輪製造技術方面的提升。

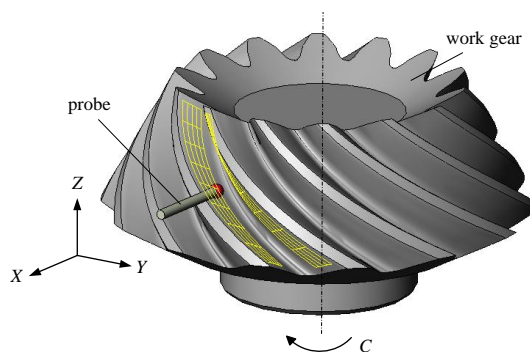
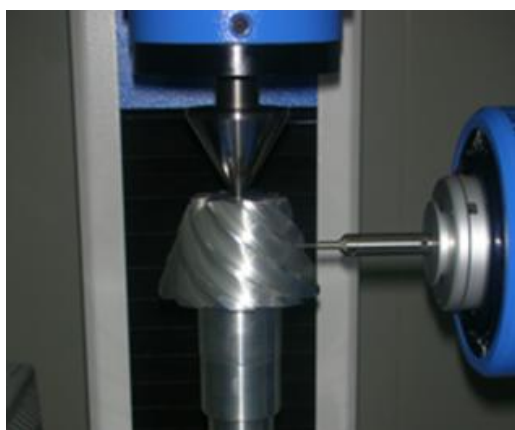


圖 13 螺旋傘齒輪和戟齒輪齒面精度量測

#### (D) 傘齒輪齒面誤差修正軟體

由於傘齒輪使用的軸數相當多，若要有效完成齒面修正，需要根據齒面誤差量測結果，使用電腦分析方法以計算各軸機械設定之修正量。晚進利用泛用型戟齒輪機數學模式，建立其齒面誤差修正技術。圖 14 所示為開發之傘齒輪齒面誤差修正軟體，此軟體能修正以不同製造方法加工(如面銑式或面滾式切齒系統)之傘齒輪。除此之外，使用者亦能加入輪磨預留量(grinding stock)，以修正輪磨前齒輪齒形。

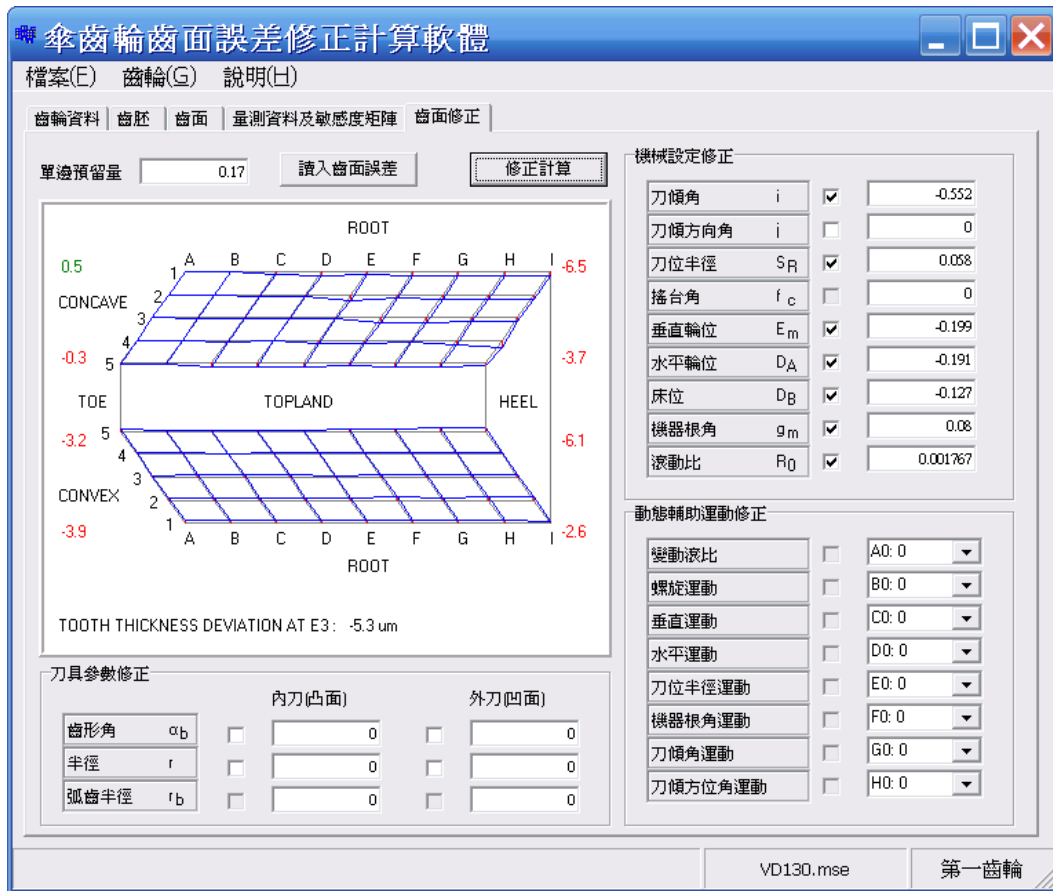


圖 14 開發之傘齒輪齒面誤差修正軟體

### (E) 齒輪刀具設計與設備開發

陸聯精密公司為全球第五大齒輪刀具廠商，其在刀具的設計和製造方面的研發不遺餘力，晚進後期擔任刀具部研發副理，負責刀具部所有研發計畫，其中包含傘齒輪和傘齒輪刀具開發、碳化鎢滾刀製程開發、螺旋栓槽滾刀齒形設計以及蝸桿蝸輪設計等。公司將鉋齒刀視為未來兩年新產品，因此積極投入鉋齒刀設計和量產製程開發，晚進主導鉋齒刀關鍵製程齒形輪磨的研磨機開發案，如圖 15 所示為開發之鉋齒刀研磨機設計圖，改裝舊型 SU 刮齒刀研磨機，增加砂輪前後移動軸以形成虛擬齒條，再與鉋齒刀工件對轉創成研磨，此製造法即為知名之 Gleason Iso-form 研磨法，製造之鉋齒刀具其前後段齒形與理論誤差非常小，能加工最高精度等級齒輪，且其使用壽命也最長。除機台結構重新設計外，晚進並根據加工需求完成所有軸之驅動零組件和控制器選用。



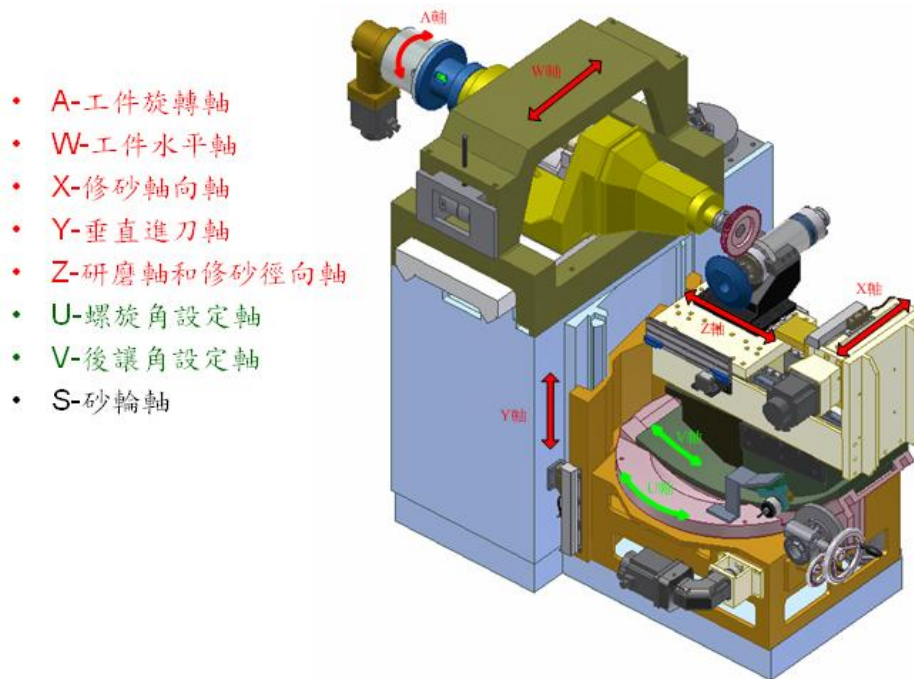


圖 15 開發之鉋齒刀研磨機

#### (F) 面銑式傘齒輪刀具設計製造技術

陸聯精密公司主要生產圓柱齒輪刀具，如滾齒刀和刮齒刀，並無設計和製造傘齒輪刀具的技術。晚進分析現有 Gleason 面銑式傘齒輪刀具設計，以及先前面銑式加工法數學模式的基礎，完成此類刀具的研發，圖 16 為為協助工研院開發四輪傳動戟齒輪對時，所自行設計製造之刀具。並開發一體式傘齒輪刀具的量產關鍵技術，以四軸半銑床精加工刀刀齒形，並利用公司自產之滾刀磨銳機做傘齒輪刀具之磨銳，成功完成一體式傘齒輪刀具製造軟體之研發(如圖 17 所示)。

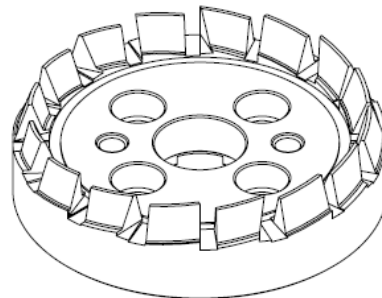
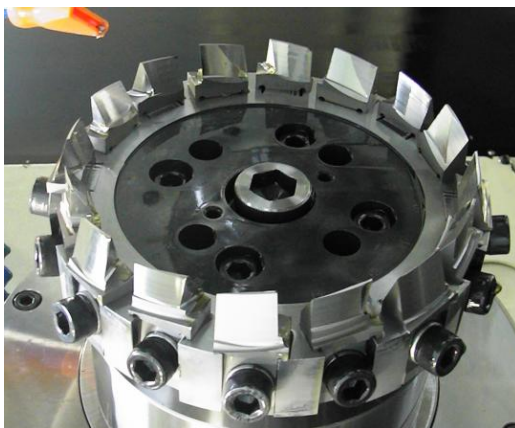


圖 16 開發之刀盤

石伊蓓博士 Dr. Yi-Pei Shih

國立臺灣科技大學機械工程

Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology

精密傳動實驗室 Precision Transmission Lab.

+886-2-2737-6775 shihyipei@mail.ntust.edu.tw

陸聯精密股份有限公司 面銑式傘齒輪刀具製造程式...[B1H0002B]

檔案(E) 說明(H)

刀具設計 刀刃精銑加工 前刃面和刀頂面磨銳加工

前刃面粗銑(M1,2) ...29.5m/min

銑刀直徑(T1) 4.7

轉速(RPM) 2000

Z進刀量 -2.2

Z進刀次數 5

進給速度 100

X移刀量 26

刀頂面(M3) ...40.2m/min

銑刀直徑(T3) 16

轉速(RPM) 800

Z進刀量 -0.05

Z進刀次數 1

進給速度 200

X移刀量 26

前刃面精銑(M1,2) ...31.4m/min

銑刀直徑(T2) 5

轉速(RPM) 2000

Z進刀量 -5.5

Z進刀次數 2

進給速度 100

X移刀量 26

刀齒面(M4,5,6,7) ...52.8m/min

銑刀直徑(T4) 12

轉速(RPM) 1400

Y進刀量(粗1) 0.5

Y進刀次數(粗1) 4

Y進刀量(粗2) 0.5

Y進刀次數(粗2) 6

Y進刀量(精) 0.2

Y進刀次數(精) 1

進給速度 100

Y進量 0.5

工件

工件實測高度 28.65

工件夾具高度 49.82

轉台

轉台高度 85.05

Y軸偏心距 0

參數輸出

NC傳輸

工件

%(  
O6001(FM CUTTER PARAMETERS)  
(LUREN PRECISION CO., LTD. 2008/10/30 9:58)  
(PART NO: B1H0002B)  
(DOUBLE CUTTER, 8RH)  
(DIA 88.9, FW 0.8, IB/OB ANG 24/16, HEIGHT 28.65)  
(TABLE HEIGHT 85.05, FIXTURE HEIGHT 49.82)  
(PARAMETERS)  
#600=2(CUTTER TYPE)  
(CUTTING FACE MILL PARAMETERS)  
#601=8(BLADE NUMBER)  
#602=45(A ROTATION ANG)  
(M1, OUTER BLADE)  
#501=6.6895(TABLE ANGLE)  
#611=24.144(A POST)  
#612=37.3528(Y POST)  
#613=40.5615(X POST)  
#614=3.2601(Z POST)  
(M2, INNER BLADE)  
#502=6.0428(TABLE ANGLE)  
#621=8.7454(A POST)  
#622=6.8504(Y POST)  
#623=43.1753(X POST)  
#624=0.1885(Z POST)  
(TOP LAND MILL PARAMETERS, HEIGHT 28.65, STOCK 0)  
#603=16(BLADE NUMBER IB+OB)  
#604=22.5(A ROTATION ANG)  
(M3, IB, OB)  
#503=9.1531(TABLE ANGLE)  
#631=7.734(A POST)

圖 17 開發之面銑式傘齒輪刀具製造軟體